

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-082931

(43)Date of publication of application : 30.03.2001

(51)Int.Cl.

G01B 11/06

H01L 21/66

(21)Application number : 11-256203

(71)Applicant : TOSHIBA CORP

(22)Date of filing : 09.09.1999

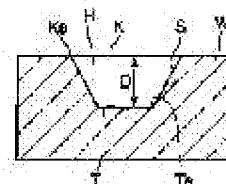
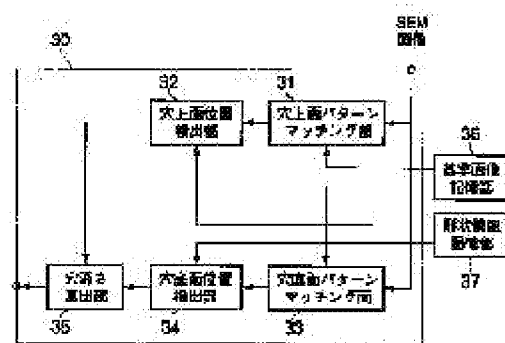
(72)Inventor : FUJII TAKAYOSHI

## (54) METHOD AND APPARATUS FOR MEASURING DEPTH OF HOLE

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a hole depth measuring method capable of performing processes with high accuracy at high speed.

**SOLUTION:** The invention includes: a hole top face pattern matching process part 31 for effecting pattern matching between an SEM image and a reference image of the edge Ke of a hole top face; a hole top face position detecting process part 32 for detecting the position of the hole top face K by the process of adapting information about the shape of the edge Ke of the hole top face from the SEM image to information about the shape of the edge Ke of the hole top face serving as a reference; a hole bottom face pattern matching process part 33 for effecting pattern matching between the SEM image and the reference image of the edge Te of a hole bottom face; a hole bottom face position detecting process part 34 for detecting the position of the hole bottom face T; and a hole depth calculating part 35 for calculating the depth D of the hole H on the basis of the distance between the hole top face K and the hole bottom face T.



(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-82931

(P2001-82931A)

(43)公開日 平成13年3月30日(2001.3.30)

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

テーマト\* (参考)

G 0 1 B 11/06

G 0 1 B 11/06

H 2 F 0 6 5

H 0 1 L 21/66

H 0 1 L 21/66

P 4 M 1 0 6

審査請求 未請求 請求項の数6 O L (全 8 頁)

(21)出願番号 特願平11-256203

(22)出願日 平成11年9月9日(1999.9.9)

(71)出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72)発明者 藤井 孝佳

神奈川県横浜市磯子区新磯子町33番地 株

式会社東芝生産技術センター内

(74)代理人 100058479

弁理士 鈴江 武彦 (外6名)

Fターム(参考) 2F065 AA25 BB13 CC19 DD06 FF04

FF61 KK02 PP24 QQ39 RR05

SS13 UU05

4M106 AA01 BA02 BA20 CA48 DB05

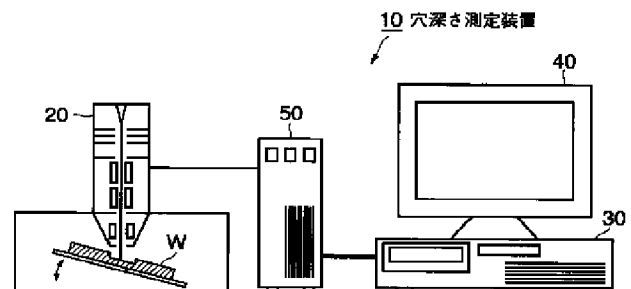
DB21

(54)【発明の名称】 穴深さ測定方法及び穴深さ測定装置

(57)【要約】

【課題】高精度・高速度な処理が可能な穴深さ測定方法を提供すること。

【解決手段】SEM画像と穴上面エッジK eの基準画像とのパターンマッチングを行う穴上面パターンマッチング処理部31と、SEM画像からの穴上面エッジK eの形状情報と、基準となる穴上面エッジK eの形状情報との適合処理により、穴上面Kの位置を検出する穴上面位置検出処理部32と、SEM画像と穴底面エッジT eの基準画像とのパターンマッチングを行う穴底面パターンマッチング処理部33と、SEM画像からの穴底面エッジT eの形状情報と、基準となる穴底面エッジT eの形状情報との適合処理により、穴底面Tの位置を検出する穴底面位置検出処理部34と、穴上面Kと穴底面Tとの距離とに基づいて穴Hの深さDを算出する穴深さ算出部35とを備えている。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】画像取得手段で得られた画像データに基づいて被観察対象物上に形成された穴の深さを測定する穴の深さ測定方法において、  
前記穴の側面及び底面が観察できるように、前記被観察対象物を斜めに観察して得られる前記画像データに対して、予め設定された穴上面エッジの特徴を有する第1の基準パターンとのパターンマッチングを行う穴上面パターンマッチング処理工程と、

この穴上面パターンマッチング処理工程から得られる穴上面エッジの形状情報と、予め登録されている穴上面エッジの形状情報との適合処理により、穴上面の位置を検出する穴上面位置検出処理工程と、

前記画像データに対し、予め設定された穴底面エッジの特徴を有する第2の基準パターンとのパターンマッチングを行う穴底面パターンマッチング処理工程と、

この穴底面パターンマッチング処理工程から得られる穴底面エッジの形状情報と、予め登録されている穴底面エッジの形状情報との適合処理により、穴底面の位置を検出する穴底面位置検出処理工程と、

前記穴上面と前記穴底面との距離とに基づいて前記穴の深さの寸法を算出する穴深さ算出処理工程とを備えることを特徴とする穴深さ測定方法。

【請求項2】前記穴深さ算出処理工程は、前記穴上面と前記穴底面との間の画素数を求め、前記画素数に1画素に相当する寸法と被観察対象物を観察する角度とに基づいて行われることを特徴とする請求項1に記載の穴深さ測定方法。

【請求項3】前記画像データは、被観察対象物に対して斜めに照射電子線が入射するようにして得られるSEMデータであることを特徴とする請求項1に記載の穴深さ測定方法。

【請求項4】画像取得手段で得られた画像データに基づいて被観察対象物上に形成された穴の深さを測定する穴の深さ測定装置において、

前記穴の側面及び底面が観察できるように、前記被観察対象物を斜めから観察して得られる前記画像データに対して、予め設定された穴上面エッジの特徴を有する第1の基準パターンとのパターンマッチングを行う穴上面パターンマッチング処理手段と、

この穴上面パターンマッチング処理手段から得られる穴上面エッジの形状情報と、予め登録されている穴上面エッジの形状情報との適合処理により、穴上面の位置を検出する穴上面位置検出処理手段と、

前記画像データに対し、予め設定された穴底面エッジの特徴を有する第2の基準パターンとのパターンマッチングを行う穴底面パターンマッチング処理手段と、

この穴底面パターンマッチング処理手段から得られる穴底面エッジの形状情報と、予め登録されている穴底面エッジの形状情報との適合処理により、穴底面の位置を検

出する穴底面位置検出処理手段と、

前記穴上面と前記穴底面との距離とに基づいて前記穴の深さの寸法を算出する穴深さ算出処理手段とを備えることを特徴とする穴深さ測定装置。

【請求項5】前記穴深さ算出処理手段は、前記穴上面と前記穴底面との間の画素数を求め、前記画素数に1画素に相当する寸法と被観察対象物を観察する角度とに基づいて行われることを特徴とする請求項1に記載の穴深さ測定装置。

【請求項6】前記画像データは、被観察対象物に対して斜めに照射電子線が入射するようにして得られるSEM画像データであることを特徴とする請求項4に記載の穴深さ測定装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、大規模集積回路（LSI）製造工程中に、ウエハWに形成された微少な穴の深さを、走査型電子顕微鏡（SEM）により撮像した画像データに対して、画像処理を用いてこの穴の深さを測定するための、穴深さ測定方法及びその装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】LSI製造工程中に形成される微細パターンの深さ（高さ）方向の寸法を精度よく測定するためには、ウエハWを破壊しその断面をSEMにより観察する方法がある。

【0003】一方、ウエハWを破壊せずに微細パターンの三次元形状を把握する方法として、いくつかの方法が提案されている。例えば、特開平8-7818号公報では、被観察対象物の傾斜角を徐々に変化させつつ撮像することによって得られた複数の画像に、画像処理を施すことによって三次元立体画像を合成している。

【0004】また、特開平5-299048号公報では、高さ情報の異なる走査像を取り込むために、照射電子線のフォーカス条件が異なる走査像を複数取り込み、これら複数の走査像とフォーカス条件から被観察対象物の三次元像を構成している。

## 【0005】

【発明が解決しようとする課題】上記で説明した従来のウエハWに形成された微細パターンの深さ方向の寸法の測定方法では、次のような問題があった。すなわち、ウエハWを破壊してその断面を観察する方法は、他の方法より測定精度はよいが、ウエハWを破壊してしまうため、そのウエハWはもう使えないという問題がある。また、測定したいホールの断面が観察できるようにウエハWを割ることは極めて難しいという問題があった。すなわち、この方法は、LSI製造工程におけるプロセス後の加工形状の寸法測定に対しては不適であった。

【0006】また、傾斜角が異なる複数の画像に画像処理を施す方法（特開平8-7818号公報）や、フォー

カス条件が異なる複数の画像に画像処理を施す方法(特開平5-299048号公報)等は、ウエハWを非破壊で測定でき、大まかな三次元的な形状を把握するのには向いているが、画像処理方法等その測定手法が複雑であり、ホール段差の測定等の特定の測定項目に対して適用するには測定に手間がかかり現実的ではなかった。

【0007】そこで本発明は、より高精度、かつ、高速な処理を行うことができる穴深さ測定方法及び穴深さ測定装置を提供することを目的としている。

【0008】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決し目的を達成するために、本発明の穴深さ測定方法及び穴深さ測定装置は次のように構成されている。

【0009】(1) 画像取得手段で得られた画像データに基づいて被観察対象物上に形成された穴の深さを測定する穴の深さ測定方法において、前記穴の側面及び底面が観察できるように、前記被観察対象物を斜めから観察して得られる前記画像データに対して、予め設定された穴上面エッジの特徴を有する第1の基準パターンとのパターンマッチングを行う穴上面パターンマッチング処理工程と、この穴上面パターンマッチング処理工程から得られる穴上面エッジの形状情報と、予め登録されている穴上面エッジの形状情報との適合処理により、穴上面の位置を検出する穴上面位置検出処理工程と、前記画像データに対し、予め設定された穴底面エッジの特徴を有する第2の基準パターンとのパターンマッチングを行う穴底面パターンマッチング処理工程と、この穴底面パターンマッチング処理工程から得られる穴底面エッジの形状情報と、予め登録されている穴底面エッジの形状情報との適合処理により、穴底面の位置を検出する穴底面位置検出処理工程と、前記穴上面と前記穴底面との距離とに基づいて前記穴の深さの寸法を算出する穴深さ算出処理工程とを備えることを特徴とする。

【0010】(2) 上記(1)に記載された穴深さ測定方法であって、前記穴深さ算出処理工程は、前記穴上面と前記穴底面との間の画素数を求め、前記画素数に1画素に相当する寸法と被観察対象物を観察する角度とに基づいて行われることを特徴とする。

【0011】(3) 上記(1)に記載された穴深さ測定方法であって、前記画像データは、被観察対象物に対して斜めに照射電子線が入射するようにして得られるSE

Mデータであることを特徴とする。

【0012】(4) 画像取得手段で得られた画像データに基づいて被観察対象物上に形成された穴の深さを測定する穴の深さ測定装置において、前記穴の側面及び底面が観察できるように、前記被観察対象物を斜めから観察して得られる前記画像データに対して、予め設定された穴上面エッジの特徴を有する第1の基準パターンとのパターンマッチングを行う穴上面パターンマッチング処理手段と、この穴上面パターンマッチング処理手段から得

られる穴上面エッジの形状情報と、予め登録されている穴上面エッジの形状情報との適合処理により、穴上面の位置を検出する穴上面位置検出処理手段と、前記画像データに対し、予め設定された穴底面エッジの特徴を有する第2の基準パターンとのパターンマッチングを行う穴底面パターンマッチング処理手段と、この穴底面パターンマッチング処理から得られる穴底面エッジの形状情報と、予め登録されている穴底面エッジの形状情報との適合処理により、穴底面の位置を検出する穴底面位置検出処理手段と、前記穴上面と前記穴底面との距離とに基づいて前記穴の深さの寸法を算出する穴深さ算出処理手段とを備えることを特徴とする。

【0013】(5) 上記(4)に記載された穴深さ測定装置であって、前記穴深さ算出処理手段は、前記穴上面と前記穴底面との間の画素数を求め、前記画素数に1画素に相当する寸法と被観察対象物を観察する角度とに基づいて行われることを特徴とする。

【0014】(6) 上記(4)に記載された穴深さ測定装置であって、前記画像データは、被観察対象物に対して斜めに照射電子線が入射するようにして得られるSEM画像データであることを特徴とする。

【0015】上記手段を講じた結果、次のような作用が生じる。すなわち、被観察対象物に対して斜めに照射電子線が入射するようにして得た画像データから穴上面位置及び穴底面位置を検出することで、穴深さを算出するようにしているので、サブミクロンオーダーの穴の深さを精度よく迅速に測定することが可能となる。特に、穴の側面にテーパーがついているような場合のように、穴形状が円筒形でない場合であっても正確に穴深さを測定することが可能となる。

【0016】

【発明の実施の形態】図1は本発明の一実施の形態に係る穴深さ測定装置10の概略構成を示す図である。穴深さ測定装置10は、LSI製造工程中のウエハ(被観察対象物)Wに形成されたサブミクロンオーダーの穴Hの深さDを測定するものである。なお、説明中Tは穴Hの底面部、Sは側面、Keは穴上面エッジ、Teは穴底面エッジを示している。

【0017】穴深さ測定装置10は、走査型電子顕微鏡20と、画像取得手段であるパーソナルコンピュータ(PC)やエンジニアリングワークステーション(EWS)等の汎用のプロセッサを搭載したコンピュータ30と、モニター90と、ハードディスク・フロッピーディスク・MOディスク等の記録媒体や、画像入力装置50とから構成されている。

【0018】電子顕微鏡20は、ウエハWを収容する真空チャンバ21と、この真空チャンバ21に取り付けられウエハWに照射電子線Uを照射する電子銃筒22と、ウエハWを支持する支持台23とを備えている。

【0019】なお、電子顕微鏡20はウエハWを斜めから観察するために、図2、図3の(a)、(b)に示すように構成されている。すなわち、図2に示すように、支持台23が電子鏡筒22に対して揺動自在に取り付けられている。また、図3の(a)に示すように電子鏡筒22が真空チャンバ21に対して揺動自在に取り付けられている。また、図3の(b)に示すように照射電子線Uの進行方向を変化させるための偏向コイル24が取り付けられている場合もある。

【0020】また、ウエハWと照射電子線Uとの角度は、穴Hの側面全体が観察できるように設定する。例えば、ウエハWと照射電子線Uとの角度を45度や、60度に設定すると、直径 $0.50\mu\text{m}$ の穴Hであれば、 $0.50\mu\text{m} \times \tan 45^\circ = 0.50\mu\text{m}$ 、 $0.50\mu\text{m} \times \tan 60^\circ = 0.87\mu\text{m}$ までの深さを測定できる。すなわち、角度が大きいほうがより深い穴の深さを測定できる。一方、測定精度を高めるためには、穴Hの側面Sをなるべく広く観察したほうがよい。角度は小さいほうがよい。このように角度は、測定したい穴Hの深さDの範囲と、必要な測定精度を考慮して決定する。

【0021】コンピュータ30は、図4に示すように、電子顕微鏡20から入力された画像データ（以下、「SEM画像」と称する）に対し予め登録された穴上面エッジKeを特徴付ける基準画像（基準パターン）とのパターンマッチングを行う穴上面パターンマッチング部31と、穴上面パターンマッチング処理部31により得られた穴上面エッジKeの形状情報と予め登録されている穴上面エッジの形状情報との適合処理により穴上面Kの位置を検出する穴上面位置検出部32と、入力されたSEM画像に対し予め登録された穴底面エッジTeを特徴付ける基準画像とのパターンマッチングを行う穴底面パターンマッチング処理部33と、穴底面パターンマッチング部33により得られた穴底面エッジTeの形状情報と予め登録されている穴底面エッジTeの形状情報との適合処理により穴底面Tの位置を検出する穴底面位置検出部34と、検出された穴上面Kと穴底面Tの距離に相当する画素を算出し、この画素数に1画素に相当する寸法と照射電子線Uの被観察対象物に対する角度とを考慮して穴Hの深さDを算出する穴深さ算出部35と、基準画像を記憶する基準画像記憶部36と、形状情報を記憶する形状情報記憶部37とを備えている。

【0022】このように構成された穴深さ測定装置10では、例えばウエハW上に形成された短径 $0.3\mu\text{m}$ （上面位置）の楕円形の穴Hの走査型電子顕微鏡の画像（以下、「SEM画像」と称する。）を用いて、次のようにして穴Hの深さDを測定する。なお、図3は穴深さ測定手順を示すフローチャートである。

【0023】図6の(a)に示す画像は、ウエハWに45度で照射電子線Uが入射するようにして得られたSE

M画像である。このSEM画像から穴Hの底面部Tと、側面Sが観察できる。また、この穴Hは図6の(b)に示すような断面形状をしており、側面Sはテーパ状となっている。

【0024】まず、測定前に基準画像の登録(ST10)と形状情報の登録(ST11)を行う。基準画像の登録とは、穴上面パターンマッチング処理、穴底面パターンマッチング処理を行うための基準となる基準画像を記憶しておくことであり、形状情報の登録とは、穴上面位置検出処理、穴底面位置検出処理を行うための穴上面エッジKeの形状情報及び穴底面エッジTeの形状情報を登録しておくことである。

【0025】基準画像の登録は次のようにして行う。例えば、図7の(a)の画像において、穴上面エッジKeを特徴づけるのは、特徴領域40、41、42に示すように、エッジ部分の濃淡が明確な部分である。これらの特徴領域40～42では被観察面への照射電子線Uの入射角度の違いによる濃淡の差と、エッジ効果による濃淡の差が現れている。これらの特徴は、ウエハWの傾斜角度が一定であれば、穴Hの深さDが変わっても不変であるため、これらの特徴領域40～42における画像を予め基準画像として登録する。一方、領域43はエッジ部分の濃淡の差が不明確であり、基準画像としては不適当である。図7の(b)、(c)、(d)は、この穴上面エッジKeの基準画像を示している。

【0026】同様に、図8の画像で穴底面エッジTeを特徴づけるのは、特徴領域44、45、46に示すようなエッジ部分の濃淡が明確な部分である。これらの特徴領域44～46における画像を予め基準画像として登録する。図8の(b)、(c)、(d)は、この穴底面エッジTeの基準画像を示している。

【0027】一方、形状情報の登録は次のようにして行う。すなわち、上述した特徴領域40～42及び特徴領域44～46の位置をそれぞれの左上の基準座標50～52及び基準座標54～56で示し、さらに、登録したそれぞれの形状の中心基準座標57、58を算出する。そして、これら基準座標50～52、54～56及び中新基準座標57、58を図9の(a)、(b)に示すように形状情報として登録する。なお、これらの形状情報は、後述する穴の深さ算出処理で必要となる。

【0028】次に実際の穴深さ測定処理について説明する。なお、ここで入力されたSEM画像データは図10に示すようなものであり、上述した図6で示した画像とは深さDが異なっている。

【0029】(1) 穴上面位置検出処理  
最初に穴上面Kの位置を検出する。すなわち、図10の画像に対し、図7の(b)、(c)、(d)に示した基準画像とのパターンマッチング処理工程を行い(ST11)、図11に示すように穴上面エッジKeの特徴領域60～62を抽出する。これら特徴領域60～62の位

置は座標70～72で示される。

【0030】次に、座標70～72と、上述した基準座標50～52との距離がそれぞれ最小となるように、基準座標50～52を移動し、穴上面位置検出処理を行う(工程ST2)。

【0031】移動方法の一例としては、図12に示すように、穴上面Kの基準座標 $a_i$  ( $x_{ai}$ ,  $y_{ai}$ ) ( $i = 1 \dots n$ ,  $n$ : 基準画像の数)をベクトル $\delta$  ( $\delta_x$ ,  $\delta_y$ )

$$|\delta| = \sum_{i=1}^n \sqrt{\{x_{bi} - (x_{ai} + \delta_x)\}^2 + \{y_{bi} - (y_{ai} + \delta_y)\}^2} \quad \text{---- (1)}$$

【0033】で示される。この結果、移動前の中心基準座標57に対し移動した距離・方向に基づいて穴上面Kの中心座標77が算出される。

【0034】(2) 穴底面位置検出処理

次に穴底面Tの位置を検出する。すなわち、図10の画像に対し、図8の(b)、(c)、(d)に示した基準画像とのパターンマッチング処理工程を行い(ST3)、図12に示すような穴底面エッジTeの特徴領域64～66を抽出する。これら特徴領域64～66の位置は座標74～76で示される。

【0035】次に、座標74～76と、上述した基準座標54～56との距離がそれぞれ最小となるように、基準座標54～56を移動し、穴底面位置検出処理を行う(工程ST4)。

【0036】このとき、穴Hの底面形状は、穴Hの深さDによってその大きさが変わることがあるため、基準座標54～56相互間の距離を拡大縮小させながら移動させる。例えば、図9の(b)に示すような形状情報が登録されている場合、抽出特徴領域の座標74～76と登録形状の座標54～56のx方向成分が最も近くなるように拡大、縮小率を決め、その後、穴上面位置検出処理と同様に拡大縮小後の形状を移動させればよい。この結果、移動前の中心基準座標58に対し移動した距離・方向・拡大縮小率に基づいて穴底面Tの中心座標78が算出される。

【0037】(3) 穴深さ算出処理

求めたい穴Hの深さDは、穴上面Kと穴底面Tの距離であるから、穴上面位置検出処理及び穴底面位置検出処理より求めた穴上面Kの中心座標77と穴底面Tの中心座標78の距離を求める。

【0038】これら中心座標77, 78間の距離(40.6画素)に1画素に相当する寸法(0.0036 $\mu$ m)と照射電子線Uの被観察対象物に対する角度(45度)とを考慮して、深さD(40.6 $\times$ 0.0036/sin45°=0.10 $\mu$ m)を算出する。

【0039】図17が測定結果画像であり、2つの直線80, 81間、本発明の方法により求めた穴上面K-穴底面T間距離、すなわち、穴Hの深さDを示している。

【0040】上述したように本実施の形態に係る穴深さ※50

\* $y$ )だけ移動したときの座標( $x_{ai} + \delta_x$ ,  $y_{ai} + \delta_y$ )と、抽出された特徴領域の座標 $b_i$  ( $x_{bi}$ ,  $y_{bi}$ )の距離の和、すなわちベクトルの大きさ $\delta$ が最小になるようにすればよい。ここでベクトルの大きさ $\delta$ は、

【0032】

【数1】

※測定装置10によれば、SEM画像に基づいて穴Hの深さDを算出することができる。特に、穴Hの側面Sがテーパ形状の場合のように、穴Hが円筒形でない場合でも、穴上面Kと穴底面Tの中心座標を検出することにより、正確に深さDを測定できる。

【0041】なお、穴深さ測定装置10による穴深さ測定方法をC言語により記述し汎用のプロセッサを搭載したパソコンで処理すると、数秒で、図10に示したSEM画像(230 $\times$ 140画素)を図17に示すように処理して穴Hの深さDを測定することができた。また、同じ穴Hについてフォーカス、ブライトネスの条件を変えて数回測定したところ、3 $\sigma$ =0.0013 $\mu$ mと十分な測定再現性が得られた。

【0042】なお、本発明は前記実施の形態に限定されるものではない。すなわち、上述した実施の形態では、穴の深さを測定しているが、溝の深さや凸部の高さの測定にも適用可能である。この他、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々変形実施可能であるのは勿論である。

【0043】

【発明の効果】本発明によれば、被観察対象物に対して斜めに照射電子線が入射するようにして得た画像データから穴上面位置及び穴底面位置を検出することで、穴深さを算出するようにしているので、サブミクロンオーダーの穴の深さを精度よく迅速に測定することが可能となる。特に、穴の側面にテーパがついているような場合のように、穴形状が円筒形でない場合であっても正確に穴深さを測定することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施の形態に係る穴深さ測定装置の概略を示す図。

【図2】被観察対象物の傾きを変える方法を示す説明図。

【図3】照射電子線の被観察対象物への入射角度を変化させる方法を示す説明図。

【図4】穴深さ測定装置のシステム構成を示すブロック図。

【図5】本発明の穴深さ測定方法の工程を示すフローチャート。

【図6】穴を示す図であって、(a)は倍率8万倍の画像を示す説明図、(b)は断面形状を示す説明図。

【図7】穴上面エッジの基準画像を示す説明図。

【図8】穴底面エッジの基準画像を示す説明図。

【図9】穴上面形状情報及び穴底面形状情報を示す説明図。

【図10】穴の倍率8万倍の原画像を示す説明図。

【図11】穴上面パターンマッチング処理結果を示す説明図。

【図12】穴上面位置検出処理の一例を示す説明図。

【図13】穴上面位置検出処理結果を示す説明図。

【図14】穴底面パターンマッチング処理結果を示す説 10

明図。

【図15】穴底面位置検出処理の一例を示す説明図。

【図16】穴底面位置検出処理結果を示す説明図。

【図17】測定結果の画像を示す説明図。

【符号の説明】

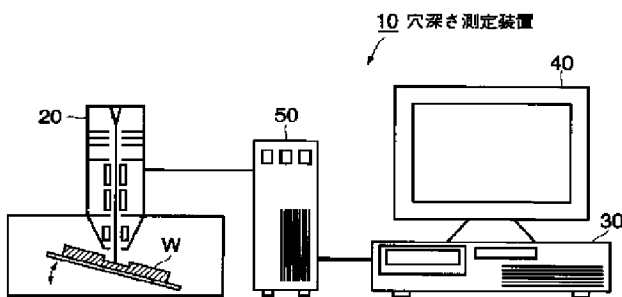
10…穴深さ測定装置

20…走査型電子顕微鏡

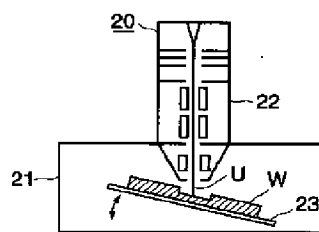
30…コンピュータ

100…画像入力装置

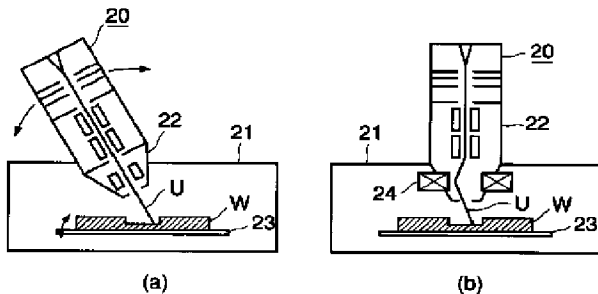
【図1】



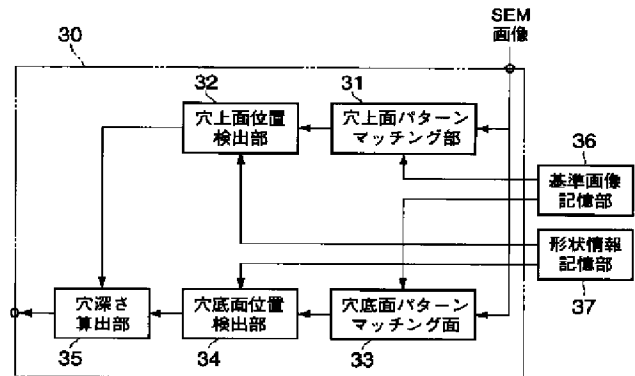
【図2】



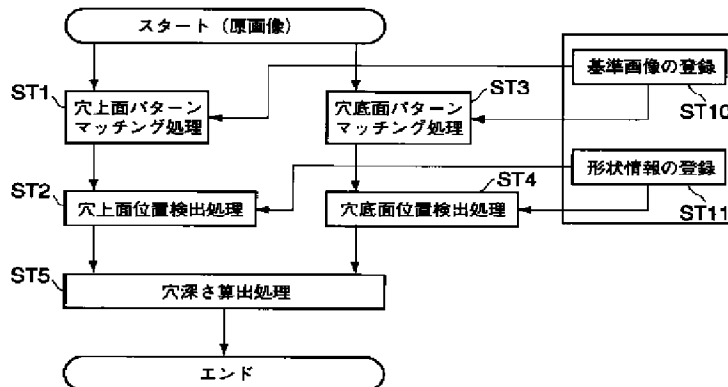
【図3】



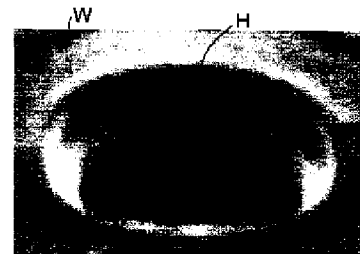
【図4】



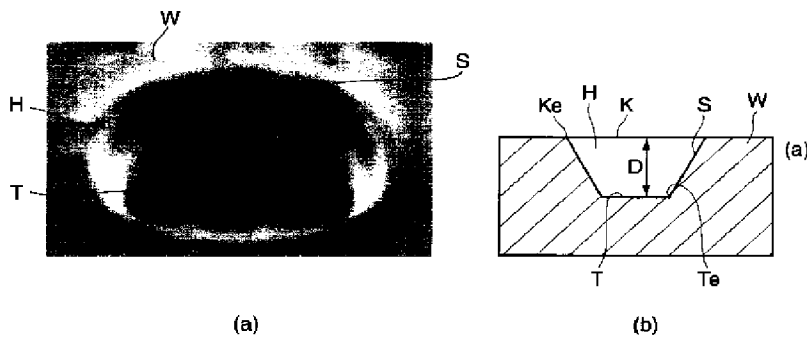
【図5】



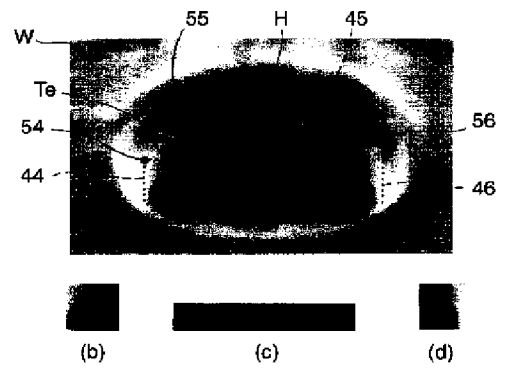
【図10】



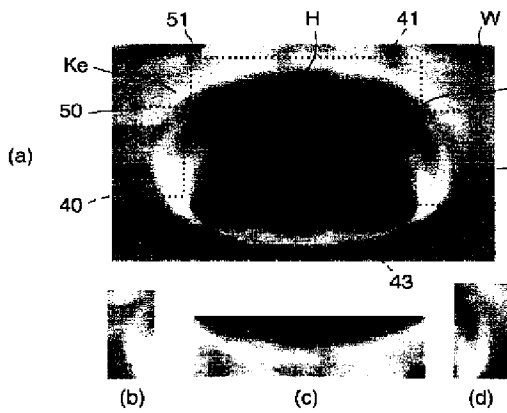
【図6】



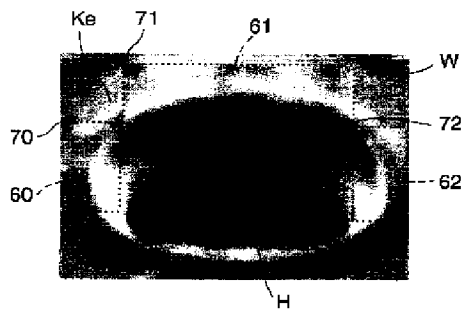
【図8】



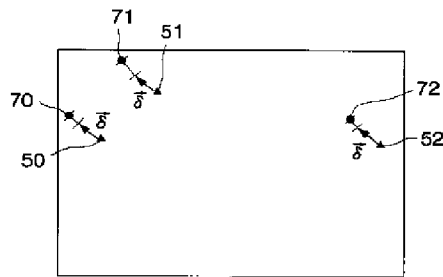
【図7】



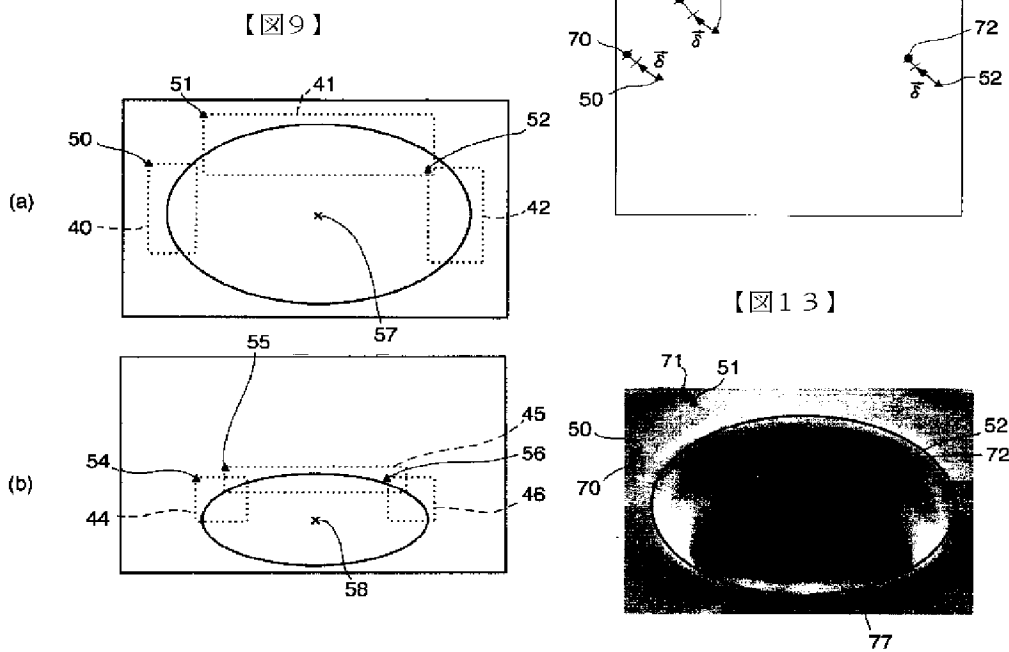
【図11】



【図12】

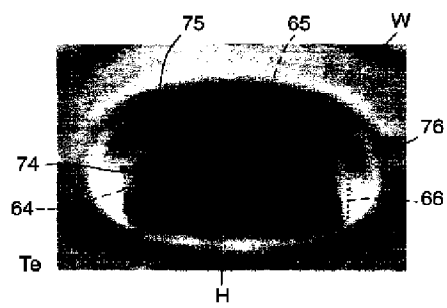


【図13】

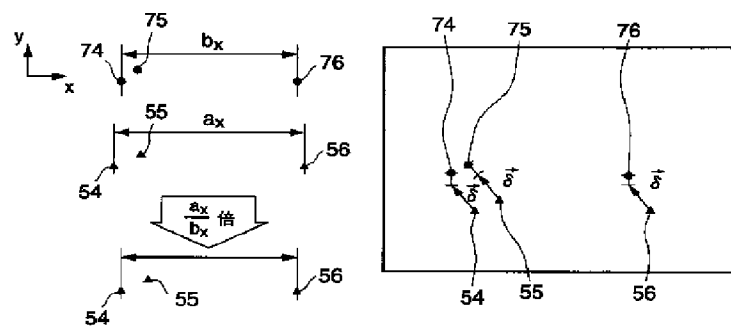




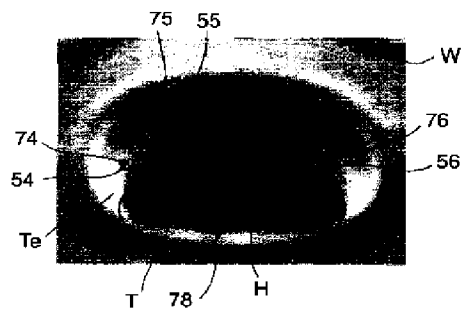
【図14】



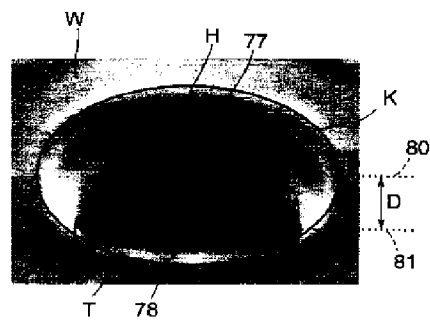
【図15】



【図16】



【図17】



\* NOTICES \*

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

## CLAIMS

---

[Claim(s)]

[Claim 1]A depth measuring method of a hole which measures the depth of a hole formed on an observation object based on image data obtained by an image acquiring means characterized by comprising the following.

A hole upper surface pattern matching processing process of performing pattern matching with the 1st reference pattern that has the feature of hole upper surface edge beforehand set up to said image data produced by observing said observation object aslant so that the side and the bottom of said hole could be observed.

Configuration information of hole upper surface edge obtained from this hole upper surface pattern matching processing process.

A hole top face position detection processing process that conformity processing with configuration information of hole upper surface edge registered beforehand detects a position on the upper surface of a hole.

A hole bottom side pattern matching processing process of performing pattern matching with the 2nd reference pattern that has the feature of hole bottom side edge set up beforehand to said image data.

Configuration information of hole bottom side edge obtained from this hole bottom side pattern matching processing process.

A hole bottom surface position detection processing process that conformity processing with configuration information of hole bottom side edge registered beforehand detects a position of a hole bottom side.

Hole depth calculation down stream processing which computes a size of the depth of said hole based on distance of said hole upper surface and said hole bottom side.

[Claim 2]The hole depth measuring method according to claim 1, wherein said hole depth calculation down stream processing asks for a pixel number between said hole upper surface and said hole bottom side and is performed to said pixel number based on a size equivalent to 1 pixel, and an angle which observes an observation object.

[Claim 3]The hole depth measuring method according to claim 1, wherein said image data is SEM data obtained by [ as irradiation electron beams' entering aslant to an observation object ].

[Claim 4]A depth measuring device of a hole which measures the depth of a hole formed on an observation object based on image data obtained by an image acquiring means characterized by comprising the following.

A hole upper surface pattern matching processing means to perform pattern matching with the 1st reference pattern that has the feature of hole upper surface edge beforehand set up to said image data produced by observing said observation object from across so that the side and the bottom of said hole could be observed.

Configuration information of hole upper surface edge obtained from this hole upper surface pattern

matching processing means.

A hole top face position detection processing means which detects a position on the upper surface of a hole by conformity processing with configuration information of hole upper surface edge registered beforehand.

A hole bottom face pattern matching processing means which performs pattern matching with the 2nd reference pattern that has the feature of hole bottom side edge set up beforehand to said image data.

Configuration information of hole bottom side edge obtained from this hole bottom face pattern matching processing means.

A hole bottom surface position detection processing means which detects a position of a hole bottom side by conformity processing with configuration information of hole bottom side edge registered beforehand.

A hole depth calculation processing means to compute a size of the depth of said hole based on distance of said hole upper surface and said hole bottom side.

[Claim 5]The hole depth measuring device according to claim 1, wherein said hole depth calculation processing means asks for a pixel number between said hole upper surface and said hole bottom side and is performed to said pixel number based on a size equivalent to 1 pixel, and an angle which observes an observation object.

[Claim 6]The hole depth measuring device according to claim 4, wherein said image data is SEM image data obtained by [ as irradiation electron beams' entering aslant to an observation object ].

---

[Translation done.]

\* NOTICES \*

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

## DETAILED DESCRIPTION

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention]This invention relates to the hole depth measuring method and its device for measuring the depth of this hole using image processing to the image data which picturized the depth of the very small hole formed into the large scale integration circuit (LSI) manufacturing process at the wafer W with the scanning electron microscope (SEM).

[0002]

[Description of the Prior Art]In order to measure the size of the depth (height) direction of the minute pattern formed into an LSI manufacturing process with sufficient accuracy, there is a method of destroying the wafer W and observing the section by SEM.

[0003]Some methods are proposed as a method of on the other hand grasping the three-dimensional shape of a minute pattern without destroying the wafer W. For example, in JP,8-7818,A, the three-dimensional stereoscopic picture is compounded by performing image processing to two or more pictures acquired by picturizing changing the angle of inclination of an observation object gradually.

[0004]At JP,5-299048,A, in order to incorporate the scanning image from which height information differs, the three dimensional images of an observation object consist of two or more incorporation, and the scanning image and the focal conditions of these plurality for the scanning image from which the focal conditions of irradiation electron beams differ.

[0005]

[Problem(s) to be Solved by the Invention]There were the following problems in the measuring method of the size of the depth direction of the minute pattern formed in the conventional wafer W explained above. That is, although the method of destroying the wafer W and observing the section is [ the accuracy of measurement ] better than other methods, in order that the wafer W may be destroyed, the wafer W has the problem that it cannot use any longer. There was a problem that it was very difficult to break the wafer W so that the section of a hole to measure can be observed. That is, this method was unsuitable to the dimension measurement of the working shape after the process in an LSI manufacturing process.

[0006]The method (JP,8-7818,A) of performing image processing to several pictures from which an angle of inclination differs, Although methods (JP,5-299048,A) of performing image processing to several pictures from which focal conditions differ could measure the wafer W by un-destroying and it is fit for grasping rough three-dimensional shape, The measurement techniques, such as an image processing method, were complicated, and for applying to specific parameters, such as measurement of a hole level difference, measurement took time and effort, and it was not realistic.

[0007]Then, an object of this invention is to provide more high degree of accuracy, the hole depth measuring method which can perform high-speed processing, and a hole depth measuring device.

[0008]

[Means for Solving the Problem] In order to solve an aforementioned problem and to attain the purpose, a hole depth measuring method and a hole depth measuring device of this invention are constituted as follows.

[0009] This invention is characterized by that a depth measuring method of a hole which measures the depth of a hole formed on an observation object based on image data obtained by (1) image acquiring means comprises:

A hole upper surface pattern matching processing process of performing pattern matching with the 1st reference pattern that has the feature of hole upper surface edge beforehand set up to said image data produced by observing said observation object from across so that the side and the bottom of said hole could be observed.

Configuration information of hole upper surface edge obtained from this hole upper surface pattern matching processing process.

A hole top face position detection processing process that conformity processing with configuration information of hole upper surface edge registered beforehand detects a position on the upper surface of a hole.

A hole bottom side pattern matching processing process of performing pattern matching with the 2nd reference pattern that has the feature of hole bottom side edge set up beforehand to said image data, By conformity processing with configuration information of hole bottom side edge obtained from this hole bottom side pattern matching processing process, and configuration information of hole bottom side edge registered beforehand. Hole depth calculation down stream processing which computes a size of the depth of said hole based on distance of a hole bottom surface position detection processing process of detecting a position of a hole bottom side, and said hole upper surface and said hole bottom side.

[0010] (2) It is the hole depth measuring method indicated above (1), said hole depth calculation down stream processing asks for a pixel number between said hole upper surface and said hole bottom side, and it is carried out to said pixel number based on a size equivalent to 1 pixel, and an angle which observes an observation object.

[0011] (3) It is the hole depth measuring method indicated above (1), and said image data is characterized by being SEM data obtained by [ as irradiation electron beams' entering aslant to an observation object ].

[0012] This invention is characterized by that a depth measuring device of a hole which measures the depth of a hole formed on an observation object based on image data obtained by (4) image acquiring means comprises:

A hole upper surface pattern matching processing means to perform pattern matching with the 1st reference pattern that has the feature of hole upper surface edge beforehand set up to said image data produced by observing said observation object from across so that the side and the bottom of said hole could be observed.

Configuration information of hole upper surface edge obtained from this hole upper surface pattern matching processing means.

A hole top face position detection processing means which detects a position on the upper surface of a hole by conformity processing with configuration information of hole upper surface edge registered beforehand.

A hole bottom face pattern matching processing means which performs pattern matching with the 2nd reference pattern that has the feature of hole bottom side edge set up beforehand to said image data, By conformity processing with configuration information of hole bottom side edge obtained from this hole bottom side pattern matching processing, and configuration information of hole bottom side edge registered beforehand. A hole depth calculation processing means to compute a size of the depth of said hole based on distance of a hole bottom surface position detection processing means which detects a position of a hole bottom side, and said hole upper surface and

said hole bottom side.

[0013](5) It is the hole depth measuring device indicated above (4), said hole depth calculation processing means asks for a pixel number between said hole upper surface and said hole bottom side, and it is carried out to said pixel number based on a size equivalent to 1 pixel, and an angle which observes an observation object.

[0014](6) It is the hole depth measuring device indicated above (4), and said image data is characterized by being the SEM image data obtained by [ as irradiation electron beams' entering aslant to an observation object ].

[0015]As a result of providing the above-mentioned means, the following operations arise. That is, by detecting a hole top face position and a hole bottom surface position from image data which they obtained aslant to an observation object as irradiation electron beams entered aslant, since he is trying to compute a hole depth, it becomes possible to measure the depth of a hole of submicron order with sufficient accuracy promptly. Like the case as a taper reaches the side of a hole especially, even if it is a case where hole shape is not a cylindrical shape, it becomes possible to be able to measure a hole depth correctly.

[0016]

[Embodiment of the Invention]Drawing 1 is a figure showing the outline composition of the hole depth measuring device 10 concerning the 1 embodiment of this invention. The hole depth measuring device 10 measures depth D of the hole H of the submicron order formed in the wafer (observation object) W in an LSI manufacturing process. During explanation, as for T, the base part of the hole H and S show the side, Ke shows hole upper surface edge, and Te shows hole bottom side edge.

[0017]The computer 30 by which the hole depth measuring device 10 carried the processor with general-purpose scanning electron microscope 20, personal computer (PC) it is [ personal computer ] image acquiring means, engineering workstation (EWS), etc., It comprises the monitor 90, and recording media, such as a hard disk floppy disk and an MO disk, and the picture input device 50 which comprised a picture ON KABODO image scanner etc.

[0018]The electron microscope 20 is provided with the following.

The vacuum chamber 21 which accommodates the wafer W.

The electronic mirror pipe 22 which is attached to this vacuum chamber 21 and irradiates the wafer W with the irradiation electron beams U.

The buck 23 which supports the wafer W.

[0019]In order to observe the wafer W from across, the electron microscope 20 is constituted as shown in (a) of drawing 2 and drawing 3, and (b). Namely, as shown in drawing 2, the buck 23 is attached to the electronic mirror pipe 22, enabling free rocking. As shown in (a) of drawing 3, the electronic mirror pipe 22 is attached to the vacuum chamber 21, enabling free rocking. The deflection coil 24 for changing the direction of movement of the irradiation electron beams U, as shown in (b) of drawing 3 may be attached.

[0020]The angle of the wafer W and the irradiation electron beams U is set up so that the whole side of the hole H can be observed. For example, if it is the hole H 0.50 micrometer in diameter when the angle of the wafer W and the irradiation electron beams U is set as 45 degrees and 60 degrees, the depth up to  $0.50 \text{ micrometer} \times \tan [45 \text{ degrees of}] = 0.50 \text{ micrometer}$  and  $0.50 \text{ micrometer} \times \tan [60 \text{ degrees of}] = 0.87 \text{ micrometer}$  can be measured. That is, the one where an angle is larger can measure the depth of a deeper hole. On the other hand, since it is better to observe the side S of the hole H as widely as possible in order to raise the accuracy of measurement, the smaller one of an angle is good. Thus, an angle is determined as the range of depth D of the hole H to measure in consideration of the required accuracy of measurement.

[0021]The image data inputted from the electron microscope 20 as the computer 30 was shown in

drawing 4. (With the hole upper surface pattern matching part 31 which performs pattern matching with the reference image (reference pattern) by which the hole upper surface edge Ke which received hereafter "SEM picture" is called" and was registered beforehand is characterized.) The hole top face position primary detecting element 32 which detects the position on the upper surface K of a hole by conformity processing with the configuration information of the hole upper surface edge Ke obtained by the hole upper surface pattern matching processing part 31, and the configuration information of the hole upper surface edge registered beforehand, The hole bottom side pattern matching processing part 33 which performs pattern matching with the reference image by which hole bottom side edge Te beforehand registered to the inputted SEM picture is characterized, The hole bottom surface position primary detecting element 34 which detects the position of the hole bottom side T by conformity processing with the configuration information of hole bottom side edge Te obtained by the hole bottom side pattern matching part 33, and the configuration information of hole bottom side edge Te registered beforehand, The hole depth calculation part 35 which computes the pixel equivalent to the distance of the hole upper surface K and the hole bottom side T which were detected, and computes depth D of the hole H in consideration of the size which is equivalent to this pixel number at 1 pixel, and the angle to the observation object of the irradiation electron beams U, and the reference image storage parts store 36 which memorizes a reference image, It has the configuration information storage parts store 37 which memorizes configuration information.

[0022]In the hole depth measuring device 10 constituted in this way, depth D of the hole H is measured as follows using the picture (a "SEM picture" is called hereafter.) of the scanning electron microscope of the hole H of an ellipse form of 0.3 micrometer (top face position) of minor axes formed, for example on the wafer W. Drawing 3 is a flow chart which shows a hole depth measurement procedure.

[0023]The picture shown in (a) of drawing 6 is a SEM picture acquired by the wafer W by [ as the irradiation electron beams' U entering ] at 45 degrees. The base part T and the side S of the hole H are observable from this SEM picture. This hole H is carrying out sectional shape as shown in (b) of drawing 6, and the side S serves as tapered shape.

[0024]First, registration (ST10) of a reference image and registration (ST11) of configuration information are performed before measurement. Registration of a reference image is the reference image used as the standard for performing hole upper surface pattern matching processing and hole bottom side pattern matching processing memorizing, and registration of configuration information, It is registering the configuration information of the hole upper surface edge Ke for performing hole top face position detection processing and hole bottom surface position detection processing, and the configuration information of hole bottom side edge Te.

[0025]Registration of a reference image is performed as follows. For example, in the picture of (a) of drawing 7, the hole upper surface edge Ke is characterized by the portion with a clear shade of an edge part, as shown in the feature regions 40, 41, and 42. In these feature regions 40-42, the difference of the shade by the difference in the degree of incidence angle of the irradiation electron beams U to an observed face and the difference of the shade by an edge effect have appeared. If these features have the constant angle of gradient of the wafer W, even if depth D of the hole H changes, since it is eternal, the picture in these feature regions 40-42 will be beforehand registered as a reference image. On the other hand, the field 43 has an indefinite difference of the shade of an edge part, and it is unsuitable as a reference image. (b) of drawing 7, (c), and (d) show the reference image of this hole upper surface edge Ke.

[0026]Similarly, hole bottom side edge Te is characterized by the picture of drawing 8 by the portion with a clear shade of an edge part as shown in the feature regions 44, 45, and 46. The picture in these feature regions 44-46 is beforehand registered as a reference image. (b) of drawing 8, (c), and (d) show the reference image of this hole bottom side edge Te.

[0027]On the other hand, registration of configuration information is performed as follows. That is,

the normal coordinates 50–52 and the normal coordinates 54–56 of each upper left show the position of the feature regions 40–42 and the feature regions 44–46 mentioned above, and the center reference coordinates 57 and 58 of each registered shape are computed further. And these normal coordinates 50–52, 54–56 and the inside neotype coordinates 57 and 58 are registered as configuration information, as shown in (a) of drawing 9, and (b). Such configuration information is needed by depth calculation processing of the hole mentioned later.

[0028]Next, a actual hole depth measuring process is explained. Depth D differs from the picture shown by drawing 6 mentioned above as shows drawing 10 the SEM image data inputted here.

[0029](1) Detect the position on the upper surface K of a hole to the hole top face position detection processing beginning. That is, a pattern matching processing process with the reference image shown in (b) of drawing 7, (c), and (d) is performed to the picture of drawing 10 (ST1), and as shown in drawing 11, the feature regions 60–62 of the hole upper surface edge Ke are extracted. The position of these feature regions 60–62 is shown by the coordinates 70–72.

[0030]Next, the normal coordinates 50–52 are moved and hole top face position detection processing is performed so that the distance of the coordinates 70–72 and the normal coordinates 50–52 mentioned above may serve as the minimum, respectively (process ST2).

[0031]as an example of handling, it is shown in drawing 12 — as — normal coordinate  $a_i$  on the upper surface K of a hole  $(x_{ai}, y_{ai})$  ( $i = 1 \sim n$ ). Coordinates  $(x_{ai} + \delta x, y_{ai} + \delta y)$  when only the vector  $\delta$  ( $\delta x, \delta y$ ) moves the number of reference images, What is necessary is just to make it the sum of the distance of coordinates  $b_i$   $(x_{bi}, y_{bi})$  of the extracted feature region, i.e., magnitude-of-a-vector  $\delta$ , become the minimum. It is magnitude-of-a-vector  $\delta$  here, [0032] [Equation 1]

$$|\vec{\delta}| = \sum_{i=1}^n \sqrt{\{x_{bi} - (x_{ai} + \delta x)\}^2 + \{y_{bi} - (y_{ai} + \delta y)\}^2} \quad \text{---- (1)}$$

[0033]It is come out and shown. As a result, based on the distance and the direction which moved to the center reference coordinates 57 before movement, the center coordinates 77 on the upper surface K of a hole are computed.

[0034](2) Detect a position of hole bottom surface position detection processing, next the hole bottom side T. That is, a pattern matching processing process with a reference image shown in (b) of drawing 8, (c), and (d) is performed to a picture of drawing 10 (ST3), and the feature regions 64–66 of hole bottom side edge Te as shown in drawing 12 are extracted. A position of these feature regions 64–66 is shown by the coordinates 74–76.

[0035]Next, the normal coordinates 54–56 are moved and hole bottom surface position detection processing is performed so that distance of the coordinates 74–76 and the normal coordinates 54–56 mentioned above may serve as the minimum, respectively (process ST4).

[0036]It is made to move, since bottom shape of the hole H may change that size by depth D of the hole H at this time, carrying out scaling of the normal coordinate 54 – the distance between 56. For example, what is necessary is to decide expansion and reduction percentage that a x direction ingredient of the coordinates 74–76 of an extraction feature region and the registration-shaped coordinates 54–56 becomes the nearest, and just to move shape after scaling like hole top face position detection processing after that, when configuration information as shown in (b) of drawing 9 is registered. As a result, based on the distance, a direction, and a rate of scaling which moved to the center reference coordinates 58 before movement, the center coordinates 78 of the hole bottom side T are computed.

[0037](3) Since depth D of hole depth calculation \*\*\*\*\* H is the distance of the hole upper surface K and the hole bottom side T, it finds distance of the center coordinates 77 on the upper surface K of a hole, and the center coordinates 78 of the hole bottom side T found from hole top face position detection processing and hole bottom surface position detection processing.



[0038]In consideration of a size (0.0036 micrometer) equivalent to 1 pixel, and an angle (45 degrees) to an observation object of the irradiation electron beams U, depth D ( $40.6 \times 0.0036 / \sin 45^\circ = 0.10$  micrometer) is computed in distance (40.6 pixels) between these center coordinates 77 and 78.

[0039]Drawing 17 is a measurement resulting image and between the two straight lines 80 and 81 shows distance between the hole upper surface [ for which it asked by a method of this invention ] K-hole bottom sides T, i.e., depth D of the hole H.

[0040]According to the hole depth measuring device 10 applied to this embodiment as mentioned above, based on a SEM picture, depth D of the hole H is computable. In particular, like [ in case the side S of the hole H is tapered shape ], even when the hole H is not a cylindrical shape, depth D can be correctly measured by detecting center coordinates of the hole upper surface K and the hole bottom side T.

[0041]When processed with a personal computer which described a hole depth measuring method by the hole depth measuring device 10 by the C language, and carries a general-purpose processor, in several seconds, a SEM picture (230x140 pixels) shown in drawing 10 was able to be processed as shown in drawing 17, and depth D of the hole H was able to be measured. When conditions of a focus and brightness were changed and it measured several times about the same hole H,  $3\sigma = 0.0013$  micrometer and sufficient measurement reproducibility were acquired.

[0042]This invention is not limited to said embodiment. That is, in an embodiment mentioned above, although the depth of a hole is measured, it is applicable also to measurement of a tooth depth or height of heights. in addition, a range which does not deviate from a gist of this invention — various — modification — of course, it is feasible

[0043]

[Effect of the Invention]According to this invention, by detecting a hole top face position and a hole bottom surface position from the image data which they obtained aslant to the observation object as irradiation electron beams entered aslant, since he is trying to compute a hole depth, it becomes possible to measure the depth of the hole of submicron order with sufficient accuracy promptly. Like the case as the taper reaches the side of the hole especially, even if it is a case where hole shape is not a cylindrical shape, it becomes possible to be able to measure a hole depth correctly.

---

[Translation done.]

\* NOTICES \*

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

## DESCRIPTION OF DRAWINGS

---

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1]The figure showing the outline of the hole depth measuring device concerning the 1 embodiment of this invention.

[Drawing 2]The explanatory view showing how to change inclination of an observation object.

[Drawing 3]The explanatory view showing how to change the degree of incidence angle to the observation object of irradiation electron beams.

[Drawing 4]The block diagram showing the system configuration of a hole depth measuring device.

[Drawing 5]The flow chart which shows the process of the hole depth measuring method of this invention.

[Drawing 6]It is an explanatory view in which it is a figure showing a hole and the explanatory view in which (a) shows a picture 80,000 times the magnification of this, and (b) show sectional shape.

[Drawing 7]The explanatory view showing the reference image of hole upper surface edge.

[Drawing 8]The explanatory view showing the reference image of hole bottom side edge.

[Drawing 9]The explanatory view showing hole upper surface configuration information and hole bottom face shape information.

[Drawing 10]The explanatory view showing an original image 80,000 times the magnification of a hole of this.

[Drawing 11]The explanatory view showing a hole upper surface pattern matching processing result.

[Drawing 12]The explanatory view showing an example of hole top face position detection processing.

[Drawing 13]The explanatory view showing a hole top face position detection processing result.

[Drawing 14]The explanatory view showing a hole bottom side pattern matching processing result.

[Drawing 15]The explanatory view showing an example of hole bottom surface position detection processing.

[Drawing 16]The explanatory view showing a hole bottom surface position detection processing result.

[Drawing 17]The explanatory view showing the picture of a measurement result.

[Description of Notations]

10 --- Hole depth measuring device

20 --- Scanning electron microscope

30 --- Computer

100 --- Picture input device

---

[Translation done.]